جغرافية الموارد المائية

د. حسن أبو سمور

كلية العلوم الاجتماعية والإنسانية
الجامعة الأردنية

د. حامد الخطيب

مركز الدراسات والإستشارات
الجامعة الأردنية

Bibliotheca Alexandrina
0111660

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ﴾

صدق الله العظيم

جغرافية الموارد المائية

جغرافية الموارد المائية

تأليف

د. حسن أبو سمور
كلية العلوم الاجتماعية والانسانية
الجامعة الأردنية

د. حامد الخطيب
مركز الدراسات والاستشارات
الجامعة الأردنية

الطبعة الاولى
١٩٩٩م - ١٤٢٠هـ

دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان

رقم الايداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (١٧٧٤/ ١٠/ ١٩٩٨)

رقم التصنيف : ٠٠١,٤٨٩١
المؤلف ومن هو في حكمه: حسن أبو سمور - د.حامد الخطيب
عنوان الكتاب : جغرافيا الموارد المائية
الموضوع الرئيسي : ١- العلوم الطبيعية
٢- علم المياه الهيدرولوجي
بيانات النشر : عمان: دار صفاء للنشر والتوزيع

* - تم اعداد بيانات الفهرسة الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

حقوق الطبع محفوظة للناشر

Copyright ©
All rights reserved

الطبعة الأولى
1999 م - 1420 هـ

دار صفاء للنشر والتوزيع

عمان - شارع السلط - مجمع الفحيص التجاري - هاتف وفاكس ٤٦١٢١٩٠
ص.ب ٩٢٢٧٦٢ عمان - الاردن

DAR SAFA Publishing - Distriuting
Telefax: 4612190 P.O.Box: 922762 Amman - Jordan

المحتويات

المقدمة..... 7

الفصل الأول 9

كميات المياه في الطبيعة..... 10

العلوم المائية..... 12

الدورة المائية العامة..... 14

الأحواض المائية..... 19

الشبكة المائية..... 22

تغذية الأنهار..... 28

السرير النهري..... 33

الفصل الثاني

التساقط 41

كثافة الأمطار..... 46

قياس الأمطار..... 47

تعويض البيانات المفقودة..... 61

فترات الرجوع..... 68

الثلج..... 70

التبخر..... 74

تقدير التبخر..... 85

قياس التبخر من المسطحات المائية..... 87

أجهزة قياس التبخر..... 88

التبخر الحقيقي والتبخر الكامن..... 90

معادلة ثورنثويت..... 92

معادلة بنمان..... 95

الفصل الثالث

الجريان 101

القدرة السطحية والاعتراض..... 102

الجريان السطحي..... 105

محطات قياس التصريف المائي..... 106

تحليل التصريف المائي..... 122

الفيضانات..... 138

الفصل الرابع

المياه الجوفية..... 151

الأشكال المائية الجوفية..... 156

التغذية الاصطناعية للماء الجوفي..... 162

البحث عن الماء الجوفي..... 175

الينابيع..... 182

الفصل الخامس

البحيرات والمستنقعات والبحار والمحيطات

البحيرات..... 189

المستنقعات..... 197

البحار والمحيطات..... 199

الفصل السادس

تقييم الموارد المائية في العالم..... 225

تقييم الموارد المائية في العالم العربي..... 235

المقدمة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على رسوله الأمين.

وبعد.....

إن المياه وليست الطاقة هي مشكلة القرن الواحد والعشرين، هذا ما أكدته النتائج التي توصلت إليها المنظمات الدولية العاملة في مجال المياه. كما أن صحة الانسان ورفاهه والأمن الغذائي والتنمية الصناعية والنظم الايكولوجية، معرضة جميعها للخطر ما لم تتم ادارة الموارد المائية والأراضي بفعالية أكثر مما كانت عليه في الماضي.

إن المياه هي من أهم العناصر التي يجب توافرها وصيانتها لتحقيق أهداف الاستراتيجية المائية الدولية وفي مقدمتها حماية البيئة وتحقيق التنمية المتواصلة. فالمناطق الجافة وشبه الجافة هي المناطق الأكثر تأثراً بالعوامل الطبيعية والنشاط البشري، وعلى المستوى الوطني فإن الدول العربية ودول الساحل الافريقية هي الدول التي تعاني حالياً نقص المياه والذي سوف يتطور نتيجة للنمو السكاني السريع إلى عجز مائي دائم.

اننا نضع هذا الكتاب في جغرافية الموارد المائية للباحثين وطلاب الجغرافيا في الجامعات العربية كي يسد نقصاً في المكتبة العربية حول هذا الموضوع.

وتنقسم الدراسة في هذا الكتاب إلى ستة فصول، تتناول موضوعات مختلفة في مجال جغرافية الموارد المائية. حيث يتناول الفصل الأول التعريف بعلم المياه وتحديد مجاله وعلاقته بالعلوم الأخرى، ويتطرق بعد ذلك الى الأحواض المائية، والأسرّة النهرية والمقاطع الطولية والعرضية للأحواض المائية.

أما الفصل الثاني فتعرض بالتفصيل لموضوع الأمطار وطرق قياسها وتقدير كمياتها، وموضوع التبخر وطرق قياسه ومعادلات تقديره، ومحددات

وقياس الثلج.

ويناقش الفصل الثالث موضوع الجريان المائي من خلال العوامل المؤثرة فيه، وأنواع الجريان المائي ومحطات قياس التصريف المائي وأساليب تحليل البيانات الهيدرولوجية بأستخدام الطرق الأحصائية والمنحنيات الهيدروغرافية والفيضانات.

أما الفصل الرابع فيتناول موضوع المياه الجوفة الذي عالج المؤلفان فيه أنواع الطبقات الخازنة للمياه الجوفية والينابيع بأنواعها العذبة والمعدنية والحارة وطرق البحث عن المياه الجوفية.

أما الفصل الخامس فعالج موضوع البحيرات والعوامل المحددة لأستمرار وجود المياه في البحيرات ومحددات التوزيع الجغرافي لها. كما تناول هذا الفصل موضوع مياه البحار والمحيطات وخصائص مياهها من حيث الملوحة والحرارة والتيارات البحرية.

أما الفصل السادس والأخير فيستعرض تقييما للموارد المائية السطحية والموارد المائية الجوفية، في العالم العربي والعالم.

وإذ نضع هذا الكتاب بين يدي القارئ، لا ندعي أنه يبز أمثاله أوانه يحيط بموضوعات جغرافية الموارد المائية أحاطة كاملة شاملة وأنما يمثل جهدا" متواضعا" لمؤلفيه، ويمكن أن يفيد الأساتذة الزملاء وطلاب الجغرافية كمرجع جغرافي، وندعو الله أن نكون قد وفقنا في أعداد موضوعاته وعرضها بصورة تلقى قبولاً حسناً وتقديراً من القارئ الكريم.

والله ولي التوفيق.

المؤلفان

عمان / 1998

الفصل الأول

مقدمة :

تعتبر المياه احد العناصر الضرورية للحياة على كوكب الأرض وقد قال الله تعالى "وجعلنا من الماء كل شيء حي" صدق الله العظيم، فاذا اعتبرنا أن الأرض نظام أعلى Super System فان هذا النظام مكون من أربعة أنظمة رئيسية هي النظام الغازي Atmosphere والنظام الصخري Lithosphere والنظام الحيوي Biosphere والنظام المائي Hyolrosphere.

والهيدرولوجيا علم واسع يشمل كل المياه في الكرة الأرضية وان مصطلح Hydrology يتكون من مقطعين Hydro وتعني المياه و Logy وتعني علم.

وقد توصلت المنظمات الدولية وخاصة الوكالات التابعة للأمم المتحدة والمتخصصة في مجال المياه الى أن الماء وليس الطاقة هي مشكلة القرن الحادي والعشرين.

وقد عزز هذا الرأي كل من مؤتمر دبلن 1992 ومؤتمر ريودي جانيرو عام 1994، حيث أشارت هذه المؤتمرات بان صحة الانسان ورفاهه والأمن الغذائي والتنمية الصناعية والنظم الايكولوجيه، معرضة كلها للخطر ما لم تتم ادارة الموارد المائية والأراضي بفعالية تزيد عما كانت عليه في الماضي.

كمية المياه في الطبيعة وكيفية تكوينها :

توجد المياه في الطبيعة في ثلاث حالات هي بخار وسائل وصلب، وتتوزع كميات المياه في الكرة الأرضية كما يلي :

1. مساحة البحار والمحيطات تبلغ 361 مليون كم^2 وتوجد فيها كمية من المياه تقدر بنحو 1370 مليون كم^3.
2. مساحة اليابس (القارات) تبلغ 149 مليون كم^2 وتوجد فيها كمية من المياه تقدر بنحو 84 مليون كم^3.
3. مجموع مساحة الكرة الأرضية 510 مليون كم^2 وفيها كمية من المياه تقدر بنحو 1455 مليون كم^3.

وتتوزع الموارد المائية على اليابسة على النحو التالي :

1. مياه المجاري المائية والأودية والمسيلات المائية وفيها كمية من الماء تقدر بنحو 1.2 ألف كم^3.
2. المياه الموجودة في البحيرات والمستنقعات تقدر بنحو 230 ألف كم^3.
3. المياه الموجودة في التربة بصورة طبيعية وتقدر بنحو 82 ألف كم^3.
4. المياه الموجودة في الكائنات الحية وتقدر بالفي كم^3.

ويمكن أن تتوزع كميات المياه في الكرة الأرضية كنسب متوية كما يلي :

1. تحتوي البحار والمحيطات على 97.2 ٪ من مياه الكرة الأرضية.

2. تحتوي الجبال الجليدية والمناطق القطبية على 2.15٪ من مجموع مياه الكرة الأرضية.

3. تحتوي الأنهار والبحيرات والينابيع والآبار والمياه الجوفية (وهي المياه العذبة الموجودة في الأرض) على نسبة 0.64٪ من مجموع مياه الكرة الأرضية.

4. يحتوي الغلاف الغازي على 0.01 ٪ من مجموع الماء الموجود في الأرض على شكل بخار وماء.

وهذه الكميات من المياه موجودة أصلاً قبل ظهور أدنى أنواع الحياة على سطح الأرض، بل في الواقع أن بدايات الحياة ظهرت في داخل الماء. وبالأخذ بعين الاعتبار التركيب الكيماوي يمكن القول بأنه في أحد مراحل تشكيل كوكب الأرض تكونت حالة حرجة من الضغط والحرارة، حيث أن كلا الغازين الهيدروجين والأكسجين والموجودين في الغلاف الجوي بكميات كبيرة أصبح عندهما امكانية تشكيل الماء الناتج عن التقاء الضغوط الكهربائية.

لقد تشكلت في البداية كميات من بخار الماء والتي أحاطت قشرة الأرض وكانت واقعة تحت ظروف حرارية عالية. وقد أحدث تكاثف بخار الماء تحت تأثير التبرد المستمر تساقطاً غزيراً من الماء على سطح الأرض، وقد تبخر جزء منها وتجمع بعضها في منخفضات واسعة جداً في القشرة الأرضية، مما أدى الى تجمع الماء وباستمرار حتى تشكلت البحار والمحيطات في شكلها البدائي. وتأثرت فيما بعد بالمعادن وبأملاح الصخور التي أذيبت في المياه الجارية وحتى أحواض التجمع (البحار والمحيطات). وقد أثرت فيما بعد مرحلة الجليديات التي

عملت على تعديل بعض المساحات المورفولوجية المحتوية على المياه. وقد عدلت الجليديات الحالة الفيزيائية للماء في مناطق واسعة، وفي الوقت الحالي يشكل الجليد والثلج الدائم كمية من المياه مقدارها 24 مليون كم^3.

العلوم المائية :

ان الهيدرولوجيا والتي عرفت حديثاً بـ Physical Hydrology أو Global Hydrology تدرس دورة المياه العامة في الكرة الأرضية والتيارات المائية والأنهار والبحيرات وغيرها. وقد عنيت علوم أخرى بدراسة المياه قبل الهيدرولوجيا في مساحات واسعة من الكوكب الأرضي، وقد وصلت بعض هذه العلوم الآن الى تطور كبير في تحديد مفاهيمها واستنتاجاتها العلمية ومنها :

1. الهيدرولوجي Hydrology وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه السطحية والمجاري المائية والبحيرات والمياه الباطنية ذات العمق القليل. وقد تفرعت من هذا العلم علوم خاصة بكل نوع وهي :

أ. بوتامولوجي Potamology وهي العلم الذي يهتم فقط بدراسة المجاري المائية.

ب. لمنولوجي Limnology وهو العلم الذي يهتم بدراسة البحيرات والمستنقعات.

ج. كريولوجي Criology وهو العلم الذي يهتم بدراسة الجليد والجليديات القطبية.

2. علم البحار والمحيطات Oceanography وهو العلم الذي يهتم بدراسة

المياه في البحار والمحيطات.

3. هيدرولوجي Hydrogeology وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه الجوفية ولأعماق كبيرة من سطح الأرض.

4. هيدرومتيورولوجي Hydrometeorology وهو علم ملازم لعلم الأرصاد الجوية Meteorology وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه في الغلاف الغازي.

كل هذه العلوم بدأت تأخذ مكاناً خاصا لها في الفترة الأخيرة ولكنها لا تستطيع الوصول الى مرحلة الاستقلال التام لأنها مرتبطة دائما بفروع العلم الأم وهو علم المياه Hydrology. الا أن هذه العلوم الهيدرولوجية مرتبطة مع علوم أخرى أهمها علم الفيزياء والجيوفيزياء والكيمياء والقوى المائية والجيولوجيا واقتصاد المياه وكذلك بعض النظريات والتطبيقات الرياضية والاحصائية.

يعالج علم الهيدرولوجي الموضوعات والمشاكل العملية التالية :

- ثبات التوازن الهيدرولوجي من خلال مناقشة الموضوعات الأساسية التالية : الأمطار التبخر، رطوبة التربة، الجريان والأحواض المائية.
- تحديد معدل كمية المياه الجارية والمارة في مقطع عرضي للمجاري المائية.
- تفاوت كمية المياه الجارية في أوقات مختلفة يومياً وشهريا وسنويا.
- تحديد الكميات الكبرى للجريان (الفيضان) والكميات الدنيا للجريان (الشح).

- التصريف الصلب وهي المجروفات المنقولة والمترسبة بواسطة المياه.
- تقدير مستويات الماء في قنوات المجاري المائية.
- تأثير نشاط الانسان على نوعية وكمية المياه الطبيعية.

من هنا يتضح جلياً أن الهيدرولوجيا هو علم يدرس تشكل دورة المياه وتوزيعها والتأثير المتبادل مع البيئه ونشاطات الانسان المختلفة.

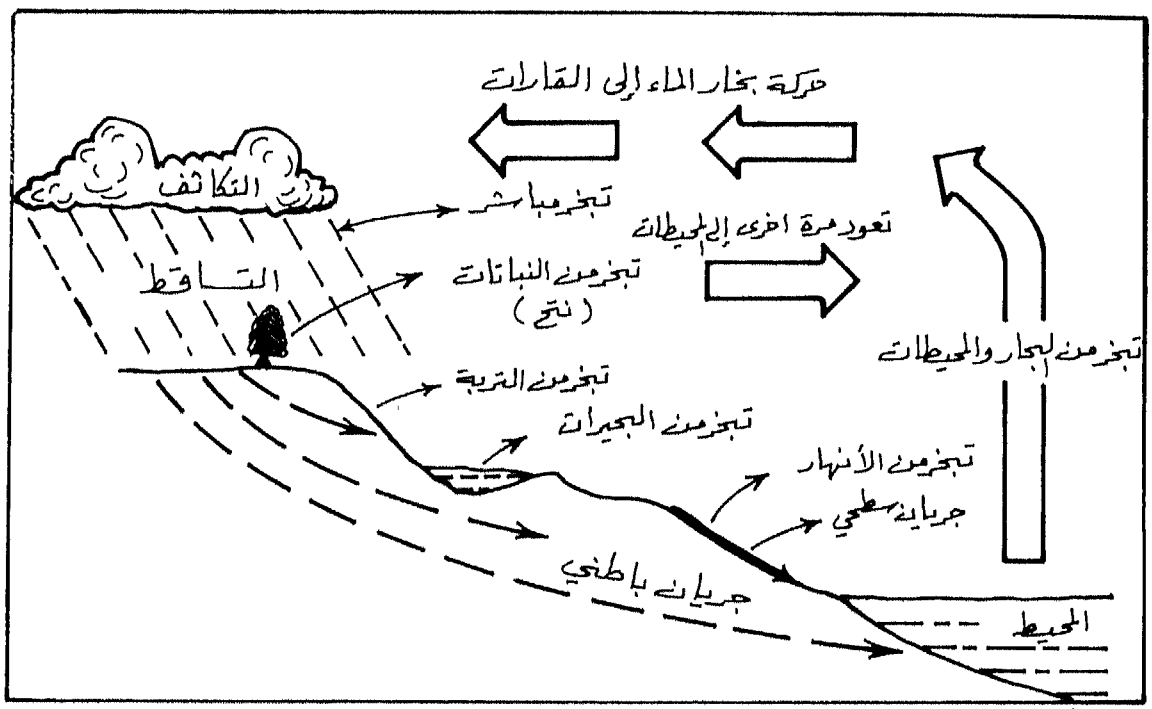
الدورة المائية العامة :

تشارك المياه في الغلاف الغازي وفي البحار والمحيطات وكذلك المياه في اليابسة في دورة واحدة تسمى بالدورة المائية العامة.

وقد أثبتت الدراسات الحديثة بأن متوسط كمية المياه التي تتحرك سنوياً بفعل هذه الدورة تصل إلى 520 ألف كم^3، وهذه الكمية تمثل نسبة محدودة من مجموع الماء في كوكبنا. وهذه الكمية هي التي تبقى الماء وكذلك تبقي الحياة على الأرض. فالدورة المائية العامة تؤثر بها عوامل مهمة، فالطاقة الشمسية التي تبخر كمية كبيرة من الماء، وكذلك التيارات الهوائية والرياح تنقل كميات كبيرة من بخار الماء، وكذلك الجاذبية الأرضية كلها عوامل تلعب دورا هاما في عملية الدورة المائية العامة.

ففي الشكل (1) حيث تسقط الأشعة الشمسية على سطح المحيطات والبحار فتبدأ عملية التبخر من المسطحات المائية، ومن سطح الأرض، فتنقل بخار الماء الى الغلاف الغازي ثم تتم عملية تكثيف لهذا البخار فيتجمع ليسقط ثانية على هيئة مطر أو ثلج على سطح الأرض والمحيطات. وما يسقط على

سطح الأرض يعود ثانية الى المحيطات والبحار بطريق مباشر وغـير مباشر، كمـا أن جزءا من التساقط يتبخر مباشرة أثنـاء السـقوط الى الغـلاف الغـازي وهـذه العمليـة مستمرة، وبفضل استمرارية هذه الدورة يمكن القول بأن الماء موجـود بشكل أو بآخر لاستعمال الانسـان علـى سطـح الأرض وانـه لـن ينتـهي طالمـا استمرت الظروف الطبيعية كما هي.



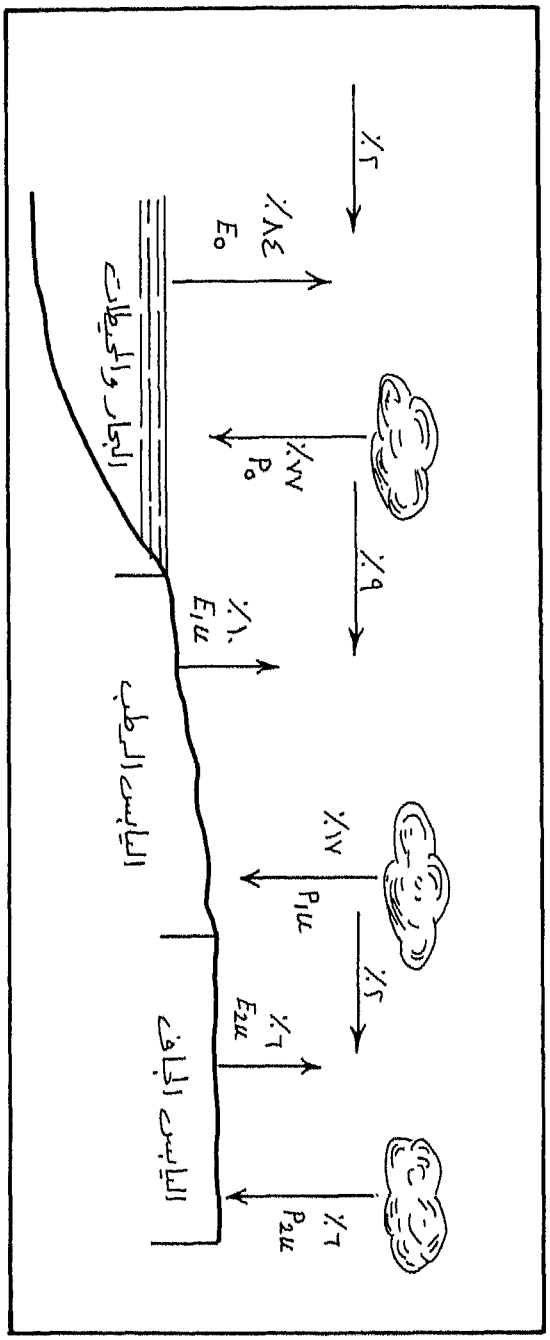
شكل (1) الدورة المائية العامة

ويمكن تقسيم عناصر الدورة المائية العامة بالنسب المئوية كما يلي :

1. التبخر من الغلاف المائي ويرمز له بالأحرف E_O = 84٪.
2. الأمطار في الغلاف المائي ويرمز له بالأحرف P_O = 77٪.
3. التبخر من الغلاف اليابس / المنطقة الرطبة ويرمز له بالأحرف E_{1u}= 10٪.
4. الأمطار في الغلاف اليابس / المنطقة الرطبة ويرمز له بالأحرف P_{1u}= 17٪.
5. التبخر في الغلاف اليابس / المنطقة الجافة ويرمز له بالأحرف E_{2u} = 6٪.
6. الأمطار في الغلاف اليابس / المطقة الجاف ويرمز له بالأحرف P_{2u} = 6٪.
7. بخار الماء المنقول بواسطة التيارات الهوائية من الغلاف المائي (البحار والمحيطات) الى اليابس = 9٪
8. بخار الماء المنقول من المناطق الرطبة الى المناطق الجافة = 2٪.
9. بخار الماء المنقول من المناطق الجافة الى البحار والمحيطات = 2٪ (الشكل 2)

التوازن الكلي والجزئي في الدورة المائية العامة :

ناقشنا حركة الماء في الدورة المائية العامة في عناصر مختلفة وفي ثلاث مناطق مختلفة هي البحار والمحيطات والمنطقة اليابسة الرطبة والمنطقة اليابسة الجافة، وكل منطقة من هذه المناطق يحدث فيها توازن في كل منطقة على حدة وكلها تمثل توازنا كليا في الدورة المائية على الكرة الأرضية، اذا اعتبرنا كميات المياه الداخلة والخارجة وعلى مدار السنة فاننا نجد العلاقات التالية :



شكل (2) التوازن الكلي والجزئي للدورة المائية

$$P_0 = E_0 + 2\% - 9\% = E_0 - 7\% \qquad -1$$

أي أن كمية الأمطار في البحار والمحيطات تساوي التبخر من الغلاف المائي يضاف اليها 2٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح مطروحا منها 9٪ منقولة منها الى المنطقة اليابسة الجافة.

$$P_{1u} = E_{1u} + 9\% - 2\% = E_{1u} - 7\% \qquad -2$$

وهذا يعني أن كمية الأمطار في المنطقة اليابسة الرطبة تساوي كمية التبخر منها مضافا اليها 9٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح القادمة من الغلاف المائي مطروحا منها 2٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح المنقولة الى اليابس الجاف.

$$P_{2u} = E_{2u} + 2\% - 2\% = E_{2u} \qquad -3$$

أي أن كمية بخار الماء من اليابس الجاف مضافا اليها 2٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح من اليابس الرطب مطروحا منها كمية بخار الماء المنقول منها 2٪ الى الغلاف المائي تساوي كمية الأمطار فيها. ويمكن وضعها جميعا في المعادلة التالية:

$$P_0 = P_{1u} + P_{2u} = E_0 + E_{10} + E_{2u} \qquad -4$$

أي أن الأمطار في البحار مضافا اليها الأمطار في اليابس الرطب مضافا اليها الأمطار في اليابس الجاف تساوي كمية التبخر من الغلاف المائي والتبخر من اليابس الرطب والتبخر من اليابس الجاف.

ويمكن اختصار كل المعادلات السابقة في معادلة سهلة جدا وهي:

$$P = E \qquad -5$$

أي أن الأمطار = التبخر (شكل 2)

الأحواض المائية للأنهار :

تعتبر الأنهار مصدرا رئيسيا من مصادر المياه العذبة على سطح الأرض، لذلك فان دراسة الأنهار تحتل مكانة خاصة في علم الهيدرولوجي وذلك لما للأنهار من أهمية في حياة الانسان والنبات والحيوان.

الحوض النهري :

هو تلك المساحة من الأرض التي تفصلها عن الأحواض المجاورة الأخرى خطوط تقسيم للمياه. أو هو مساحة الأرض التي تتجمع منها مياه الأمطار لتجري في مجرى واحد. وقد تتطابق الأحواض النهرية السطحية مع الأحواض المائية الجوفية وقد لا تتطابق، ويعود ذلك الى طبيعة الوضع الجيولوجي والتكتوني في اعماق الحوض النهري.

وعادة ما تشتمل الأحواض النهرية الكبيرة على أحواض مائية ثانوية وهي عبارة عن أحواض رافدة للنهر الرئيسي. فمثلا حوض نهر الأردن يشمل عدة أحواض نهرية فرعية مثل حوض نهر اليرموك وحوض نهر الزرقاء وحوض نهر بانياس وحوض نهر الدان وحوض نهر الحاصباني وحوض نهر الفارعة، بالاضافة للأحواض الفرعية الأخرى للأودية الموسمية الجريان.

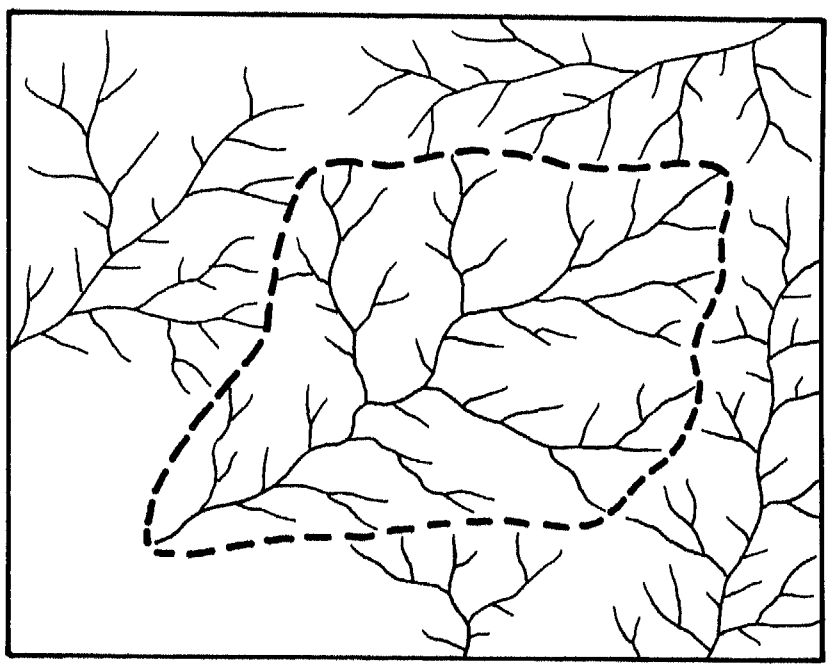
وتقسم الأحواض النهرية الى ما يلي :

1. الأحواض النهرية الكبيرة : وهي تلك الأحواض التي تزيد مساحتها على 50 ألف كم^2.
2. الأحواض النهرية المتوسطة : وهي تلك الأحواض التي تزيد مساحتها على

30 ألف كم^2.

3. الأحواض النهرية الصغيرة : وهي تلك الأحواض التي تتراوح مساحتها بين 5–30 ألف كم^2.

ويتم تحديد الحوض النهري عن طريق تحديد خط تقسيم المياه مع الأحواض النهرية المجاورة (شكل 3). وتحدد مساحة الحوض النهري بالكم^2، ويجب أن تكون له نقاط محددة بالأسماء أو بأرقام الكيلومترات من بداية منبع النهر، ويعطي حرف F تعبيرا عن المساحة ويجب أن نحسب مساحة الحوض النهري عند أي مقطع كان. وتقاس مساحة الأحواض النهرية عادة بجهاز البلانيميتر Planimetre.



شكل (3) تحديد الحوض النهري

ويقسم الحوض النهري عادة الى ثلاثة أجزاء هي :

1. الحوض الأعلى. 2. الحوض الأوسط. 3. الحوض الأدنى.

وعادة ما يشتمل الحوض الأعلى على منابع النهر ويشتمل الحوض الأدنى على مصب النهر. الا أننا سنتبع هنا تقسيم الحوض الى الأجزاء التالية:

1. منطقة المنابع :

وهي نقطة البداية للجريان النهري الحقيقي وقد يكون للنهر أكثر من منبع حيث يتشكل النهر هنا من التقاء رافدين أو أكثر. وقد تكون منطقة منبع النهر بحيرة، هنا يمكن رؤية المنبع بوضوح كنهر أنغارا **Angara** الذي ينبع من بحيرة بايكال **Baykal**. وقد تكون منطقة المنبع عبارة عن منطقة مستنقعات مثل منابع نهر الفولغا والذي يجمع ينابيعه من مستنقعات فالدايسكي **Valdaysky**. وهناك بعض الأنهار تبدأ منابعه من الجبال مثل جبال الألب والهيمالايا والقفقاس، كما يمكن أن تكون الجليديات في العروض العليا منابع للأنهار.

2. الحوض الأعلى للنهر :

ويتكون الحوض الأعلى عادة في المنطقة الجبلية للنهر، وتتميز تضاريسه بشدة الانحدار، ويكون التيار المائي سريعا جدا، وتسود عمليات النحت الرأسي ويتعمق مجرى النهر ليصبح على شكل حرف V ، وتكثر أيضا المسيلات المائية والجداول والشلالات.

3. الحوض الأوسط :

يصبح مجرى النهر في الحوض الأوسط اكثر اتزانا وهدوءا، حيث

تتناقص شدة النحت الرأسي وتصبح متوازنة مع عملية الترسيب، ويبدأ النحت الجانبي عند الضفاف، كما تتناقص سرعة التيار المائي وتصبح حمولته متوسطة الحجم.

4. الحوض الأدنى :

يزداد تناقص الانحدار في الحوض الأدنى حتى يبدو النهر وكأنه بدون انحدار، ونتيجة لذلك يبدأ النهر بالتعرج راسما اكواعا مختلفة الاحجام، والتي كثيرا ما تؤدي الى وجود أكواع مهجورة أو بحيرات هلالية، ويصل النهر هنا الى حالة الاتزان أو مستوى الاساس فلا يعود النحت الرأسي موجودا، وغالبا ما يعرف الحوض الأدنى للنهر بمنطقة السهل القليل الانحدار.

5. المصب :

بعد أن يصبح مجرى النهر في نهاية الحوض الأدنى فانه قد ينتهي الى البحر او الى البحيرة او الى مستنقع، أو قاع. وعادة ما يكون المصب أكثر وضوحا من المنبع الا أن الأنهار الكبيرة يصعب فيها تحديد مكان المصب وذلك بسبب دلتاواتها الكبيرة المساحة وتفرعات النهر داخل تلك الدلتاوات مثل دلتا نهر النيل والفولغا والمسيسيبي والدانوب وذلك بسبب كثافة تفرعها، لكن في الغالب تعتبر الفروع الكبيرة هي مصبات الأنهار.

الشبكة المائية :

تمثل أي شبكة مائية لسطح معين نظاما مشعبا من الأودية والمنخفضات الطبيعية والذي يمثل جريان الماء على سطح الأرض سواء كان ذلك الجريان ماء

مطر أو ماءا جوفيا باتجاه رئيسي. ولو نظرنا الى الشبكة المائية (اي شبكة مائية) لوجدنا أنها تمثل عروقا كما في عروق ورقة الشجرة أو تمثل نظام الاغصان عند الشبكات، وعادة ما يطلق على النوع من الشبكات بشبكات التصريف ذات النمط الشجري.

ونتيجة تدخل الانسان فان هذه الشبكة الطبيعية يمكن أن يتغير شكلها، فنلاحظ وجود بحيرات تجمع المياه أمام السدود أو نلاحظ قنوات من بناء الانسان لاستعمالها في الري او في الملاحة، واما بالعكس يمكن ان تتكون مستنقعات مائية تغطي بعض فروع الشبكة.

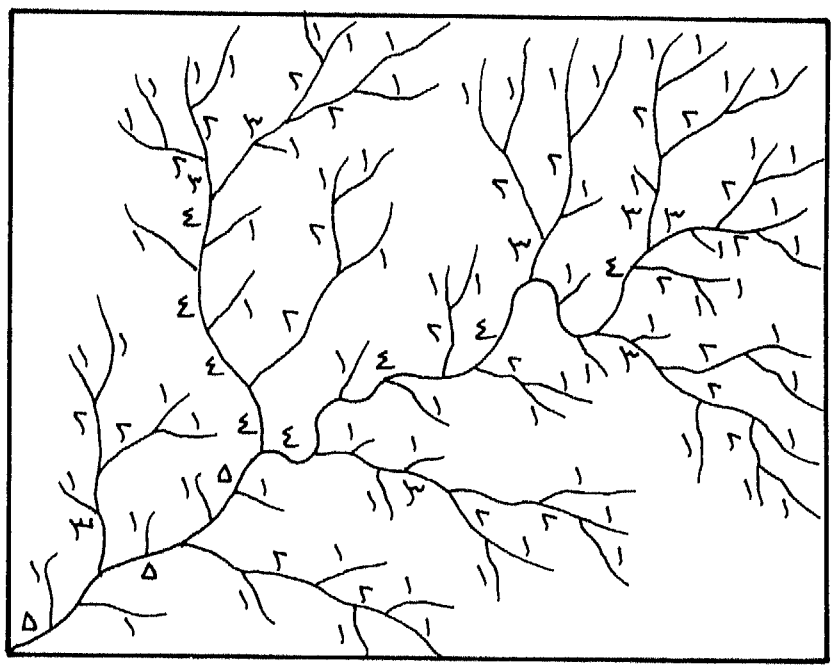
ان تشكيل الشبكات المائية حدث أصلا في عصور جيولوجية سابقة، عندما تشكلت على الأرض التضاريس اليابسة، فمنذ بداية العصور الجيولوجية وحتى الحقبة الأخيرة من العصر الجيولوجي الرابع **Quaternar**، لعبت عمليات الرفع والخفض لسطح القشرة الأرضية دورا أساسيا في تشكيل معظم الشبكات المائية الحالية، وتدخلت فيما بعد بعض التغيرات وذلك بفعل تداخل اليابس والماء.

فقد لعبت عمليات التعرية التي قامت بها الأنهار على فترة طويلة من الزمن دورا مهما في الشبكات المائية الحالية، فبعض الشبكات المائية كانت قد شكلت مراوح فيضية كبيرة عملت على تغيير مجراها ومن ثم خلق فروع جديدة في الشبكة المائية.

وتختلف الشبكات المائية في أهميتها، وذلك تبعا لطول الأودية الرئيسية او قصرها وكذلك تبعا لعدد الفروع الأخرى للمجرى الرئيسي او قلتها.

وتعطى روافد الشبكة المائية رتبا تبعا لأهميتها.وتقسم الرتب النهرية الى ما يلي:

1. ان اصغر رتبة نهرية تعطى الرقم 1 (N.1) وهي الأودية الصغيرة التي لا ترتبط بها فروع أصغر منها والتي تقل أطوالها عن 5كم.
2. الرتبة الثانية تعطى الرقم 2 (N.2) وهي الأودية التي تتكون نتيجة اتحاد رافدين أو أكثر من روافد الدرجة الأولى. (N.1).
3. المرتبة الثالثة وتعطى الرقم 3 (N.3) ، وهي عبارة عن اتحاد رافدين أو أكثر من روافد الرتبة السابقة 2 (N.2). وهكذا فكلما زادت الرتبة في الشبكة المائية كلما زادت أهمية الشبكة المائية (كما في الشكل 4).



شكل (4) الرتب النهرية

التواء النهر وتفرعه :

تؤثر البنية الجيولوجية للحوض النهري وطبيعة التربة والغطاء النباتي ونظام الجريان في جريان الأنهار، وعليه فان الأنهار لا تسير عادة بخطوط مستقيمة، بل انها تنعطف وتتلوى مشكلة ما يسمى بالأكواع النهرية البدائية والمتطورة. ويعبر عن تلوي النهر او التوائه بقرينه الالتواء، وهي عبارة عن العلاقة القائمة بين طول النهر الحقيقي (L) في منطقة ما وما بين خط مستقيم (I) يمتد عبر هذه المنطقة.

ويمكن حساب قرينة الالتواء كما يلي :

$$K = \frac{L}{I}$$

حيث أن:

L = طول النهر الحقيقي مع كل تعرجاته.

I = طول الخط المستقيم الذي يمتد من المنبع وحتى المصب.

أما بالنسبة لقرينة التفرع أو درجة التفرع فيمكن حسابها من خلال قياس طول كل التفرعات الثانوية مضافا اليها طول النهر الأساسي ثم تقسم هذه على طول النهر الرئيسي، وعليه يمكن حساب درجة التفرع كما في المعادلة التالية :

$$K = \frac{L1 + L2 + \ldots\ldots Ln + I}{L}$$

حيث أن:

L1 = طول روافد الدرجة الاولى

L2 = طول روافد الدرجة الثانية

Ln = طول روافد الدرجات الاخرى

I = طول الخط المستقيم الذي يمتد من المنبع حتى المصب

L = طول النهر الرئيسي بكل تعرجاته

كثافة الشبكة المائية :

هناك عدة طرق لقياس كثافة الشبكة المائية ومن أهمها وأكثرها استعمالا، تلك الطريقة التي تأخذ بعين الاعتبار مساحة الحوض النهري المراد معرفة كثافة شبكته المائية، ثم يحسب طول المجاري النهرية الموجودة ضمن هذه المساحة فيقسم طول الأنهار على المساحة وذلك حسب المعادلة التالية :

$$N = \frac{L}{A} = k/k^2$$

حيث أن:

L = مجموع طول الروافد.

A = مساحة الحوض النهري / كم^2.

التكرار النهري :

وتتمثل العلاقة هنا بعدد المجاري المائية بجميع رتبها ضمن حوض نهري معين مقسومة على مساحة ذلك الحوض بالكم^2 وذلك حسب المعادلة التالية :

$$Fr = \frac{N}{A}$$

حيث أن:

Fr = التكرار النهري

N = عدد المجاري المائية بجميع رتبها

A = مساحة الحوض النهري / كم^2

نسبة التشعب النهري :

ويحسب التشعب النهري بنسبة عدد الأنهار من رتبة معينة الى عدد الأنهار من الرتبة التي تليها وذلك حسب المعادلة التالية :

$$P = \frac{N1}{N2}$$

حيث أن:

P = نسبة التشعب النهري.

N1 = عدد المجاري المائية من رتبة 1.

N2 = عدد المجاري المائية من رتبة 2.

وهناك عدة علاقات أخرى تتعلق بالأحواض النهرية منها :

نسبة التضرس : وتعني الفرق بين أعلى وأخفض نقطة في الحوض النهري بالمتر مقسوما على طول الحوض النهري / كم وذلك حسب المعادلة التالية :

$$R = \frac{R1 - 2}{L}$$

حيث أن:

R = نسبة التضرس

R1 = أعلى نقطة في الحوض النهري عن مستوى سطح البحر.

R2 = أخفض نقطة في الحوض النهري بالنسبة لمستوى البحر.

L = أقصى طول للحوض النهري / كم.

معامل شكل الحوض النهري : وهو عبارة عن قسمة مساحة الحوض / كم^2 على مربع طول الحوض/كم، كما في المعادلة التالية:

$$Fo = \frac{A}{L}$$

حيث أن:

Fo = معامل شكل الحوض.

A = مساحة الحوض / كم^2.

L = أقصى طول للحوض النهري / كم.

تغذية الأنهار :

يعتبر التساقط بأشكاله المورد الأساسي لتغذية الأنهار، حيث تؤدي الأمطار والثلوج الى عملية الجريان على سطح الأرض، أما المصادر الأخرى فهي الغطاء الجليدي والمياه الجوفية. وتختلف نسبة هذه المصادر بين منطقة

وأخرى ومن نهر لآخر ومن فصل لآخر، وتعتمد نسبة هذه المصادر على عدة ظروف طبيعية منها : الظروف المناخية، حيث تزداد تغذية الأنهار بالمياه في المناطق التي تزداد فيها كميات الأمطار وتساقط الثلوج مثل المناطق الباردة والمناطق المعتدلة الرطبة والمناطق الجبلية والمناطق الاستوائية، حيث تتميز تلك المناطق بكثرة التساقط فيها طوال العام.

ويمكننا تمييز الأنواع التالية لتغذية الأنهار :

1. التغذية المطرية :

بعد هطول الأمطار على الأرض تبدأ التربة بالتشبع بالمياه وبعد أن تصبح التربة في حالة الاشباع، يبدأ الماء بالجريان على سطح التربة ليشكل مسيلات مائية لا تلبث أن تلتقي مشكلة جداول فأودية ثم تنتهي في مجاري مائية أكبر حتى يصل حجمها الى حجم الأنهار الكبيرة.

وتكون التغذية المطرية اما موسمية، فيزداد تصريف الأنهار وتصل ذروتها في فصل الصيف، واما ان تكون التغذية المطرية أكثر انتظاما كما هو الحال في المناطق الاستوائية، واما ان تكون التغذية المطرية غزيرة في فصل الأمطار وذوبان الثلوج كما هو الحال في العروض الوسطى البحرية، أما التغذية الصحراوية وبالرغم من شحها الا أنها قد تؤدي الى حدوث سيول جارفة وفجائية.

2. التغذية الثلجية :

يظهر أثر التغذية الثلجية بشكل واضح في العروض الوسطى والعليا وفي المناطق الجبلية العالية ؛ حيث يحدث ذوبان الثلوج في فصل الربيع وأوائل الصيف. وتكون فترة ذوبان الثلوج بين 30–90 يوما في العروض الباردة

والمتوسطة الا انها تغذي الأنهار بمياه تعادل 50–80 ٪ من مجموع تغذيتها السنوية.

3. التغذية الجمودية :

تظهر آثار التغذية الجمودية واضحة في فصل الصيف وذلك في الأحواض العليا من الأنهار والتي تبدأ منابعها من الجبال المرتفعة. حيث تأخذ الجموديات بالذوبان مما يؤدي الى زيادة تصريف الأنهار وارتفاع مستواها وحدوث الفيضانات. وتحدث هذه التغذية في الجبال العالية الغنية بالجموديات مثل جبال القفقاس والهيمالايا والألب والبامير.

4. التغذية المختلطة :

وهي أكثر أنواع التغذية شيوعا، حيث تشارك جميع أنواع التغذية في تزويد الأنهار بالمياه. وينطبق هذا على الأنهار الكبيرة التي تبدأ من الجبال العالية قاطعة أقدام الجبال والهضاب والسهول حتى تصل الى مصباتها.

5. التغذية الاصطناعية :

وتتم هذه التغذية عن طريق الانسان الذي يعمل على تحويل جزء من مياه النهر الى نهر آخر لأي غرض من الأغراض سواء كان ذلك من أجل الري أو الشرب أو الملاحة النهرية واقامة السدود.

6. تغذية الأنهار بواسطة البحيرات والمستنقعات :

تشارك المستنقعات بتغذية الأنهار خاصة تلك التي تتميز بغناها المائي مثل منابع نهر الفولغا. وقد تكون البحيرات مصدرا أساسيا لتغذية الأنهار كما

هو الحال في البحيرات الكبرى الافريقية الاستوائية التي تغذي نهر النيل وبحيرة بايكال التي تغذي نهر انغارا.

7. تغذية الأنهار بواسطة المياه الجوفية :

تعتبر المياه الجوفية مصدرا مهما ودائما لتغذية الأنهار بالمياه حيث تعتمد التغذية الجوفية على مستوى الماء الجوفي، اذ تزداد التغذية بارتفاع مستوى الماء الجوفي وتقل التغذية بانخفاضه، وساهم الماء الجوفي في استمرار الجريان. ويدعى التصريف المائي الذي يعتمد على الماء الجوفي بتصريف الأساس Base flow.

وبناء على ذلك يمكن تقسيم الأنهار حسب مصادر تغذيتها الى ما يلي:

1. النوع الأول "A" وهي الأنهار التي تكون مصدر تغذيتها الرئيسية ذوبان الثلوج في السهول والمرتفعات حتى 1000 متر فوق مستوى سطح البحر. ويتمثل ذلك في أنهار سيبيريا وشمال أمريكا الشمالية .
2. النوع الثاني "B" وهي الأنهار التي يكون مصدر تغذيتها الرئيسي من ذوبان الثلوج الساقطة على المرتفعات العالية، وهذا نوع نادر ويتمثل في أنهار آسيا الوسطى.
3. النوع الثالث "C" وهي الأنهار التي يكون مصدر تغذيتها الرئيسي من الأمطار الصيفية، ولهذا نجد أن قمة التصريف المائي هي في فترة الصيف، وينطبق هذا على الأنهار التي تتغذى من الأمطار الموسمية والمدارية مثل انهار الكونغو والاورينوكو.

4. النوع الرابع "D" وهي الأنهار التي تتغذى بصورة رئيسية من ذوبان الثلوج خلال فصل الربيع أو بداية فصل الصيف، بالاضافة الى مياه الأمطار، وينتشر هذا النوع في المناطق التي تتميز بشتاء بارد ومثلج، وهنا نلاحظ حدوث الفيضانات الربيعية. لأن قمة التصريف تكون في فصل الربيع، وتنخفض نسبة التصريف في أواخر فصل الصيف والخريف. مثل أنهار السويد وألمانيا وشمال الولايات المتحدة الأمريكية والسهل الروسي ودجلة والفرات.

5. النوع الخامس "E" وهي الأنهار التي تتغذى بصورة رئيسية من مياه الأنهار التي تسقط خلال الأشهر الباردة وأشهر الصيف، ولكن تزيد نسبة التصريف الشتوي عن التصريف الصيفي، مثل أنهار وسط وغرب أوروبا ويمثلها نهري السين والتايمز.

6. النوع السادس "F" وهي الأنهار التي تتغذى على مياه الأمطار الشتوية والصيفية والتي تتميز بغزارتها خلال الفصل البارد بالمقارنة مع كمياتها في فصل الصيف. ويمثل هذا النوع أنهار جنوب أوروبا وشمال أفريقيا ومنطقة كاليفورنيا ومنطقة تشيلي وجنوب استراليا.

7. النوع السابع "G" ويمثل هذا النوع انعدام الجريان في الأودية وذلك نتيجة جفاف المناخ ومنها أودية صحراء الجزيرة العربية وبادية الشام والصحراء الكبرى الافريقية وصحراء قرة قوم وقزل قوم في آسيا الوسطى.

السرير النهري : River bed

تعني كلمة سرير نهري المنطقة السفلي للوادي المغطاة بشكل دائم أو مؤقت بالماء، والتي تقع على تركيب جيولوجي صلب. ويتحكم شكل التيار المائي بالسرير النهري ويحدد اتجاه جريان الماء. والتيار المائي هو الذي يشق طريقه بنفسه وهو الذي يطوع المجرى حسب قوانين حركته، وتحدد العوامل الهيدروطبغرافية للسرير النهري للمقطع العرضي للسرير النهري من خلال المقطع العرضي، والمقطع الطولي والشكل الأفقي. ومن ناحية حركة الماء والتيارات المائية فان تعرج جوانب الأنهار والتوائها هي من العناصر الهيدروليكية التي تكمل صفات السرير النهري الطبيعية.

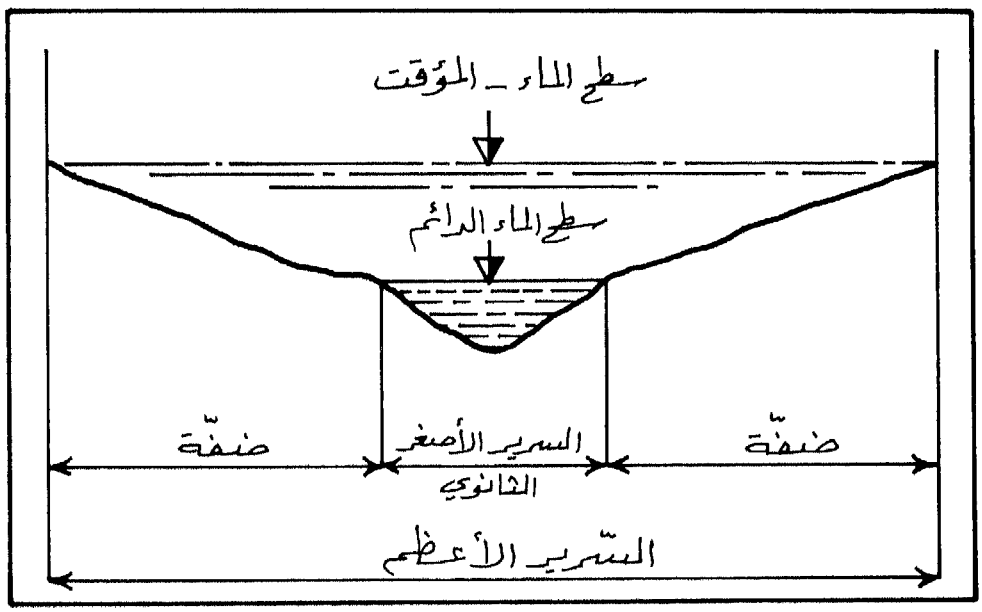
المقطع العرضي للسرير النهري :

يتغير شكل المقطع العرضي للسرير النهري، ففي حين يكون شكل المقطع العرضي للسرير النهري مستطيل **rectangle**، يمكن أن يكون المقطع على شكل معين **Trapezium**أو يأخذ شكل القطع المكافئ **Parabola**، أو من اشتراك هذه الأشكال مع بعضها.

بشكل عام فان المقطع غالبا ما يكون غير منتظم لأنه يتكون من جهة عميقة وتسمى بالسرير الثانوي **Minor** ومناطق جانبية تغطيها المياه فقط في فترات معينة من السنة. وتسمى المناطق الجانبية الكبيرة الاتساع بجوانب النهر، وتكون جوانب النهر واسعة بقدر ما يكون التصريف المائي كبيرا. ويحدد السرير الأصغر للنهر الدائم الجريان بالقناة التي تغطيها المياه بشكل دائم طوال

العام، أما السرير الأعظم للمجرى النهري فهو القناة التي تغطيها المياه بشكل مؤقت (في أوقات الفيضان). ويعتمد ذلك على التركيب الجيولوجي. ولذلك فان شكلها يختلف من القائم وحتى المائل بدرجة 1: 5.

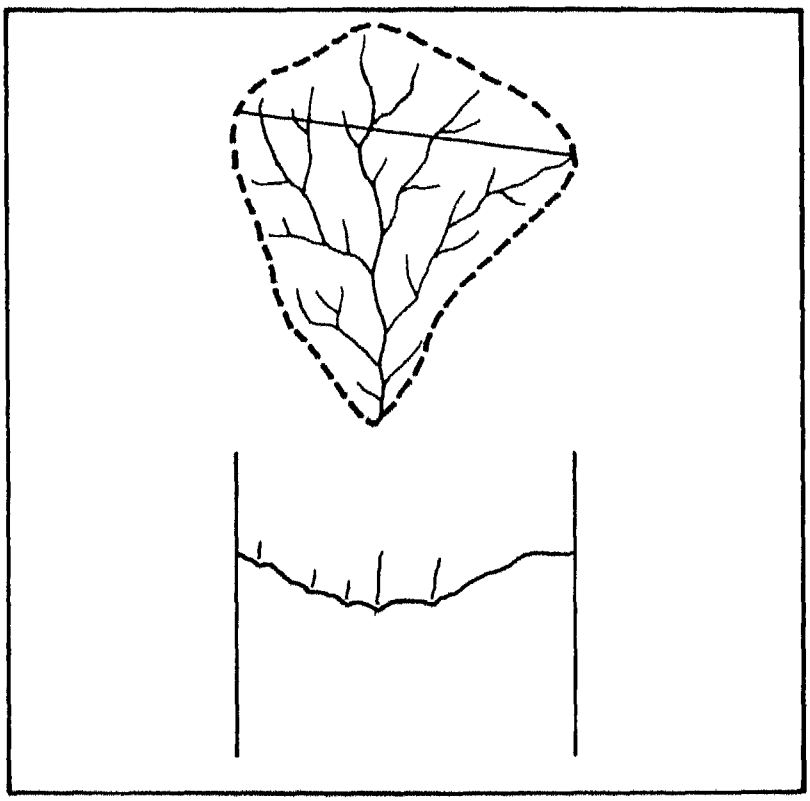
هناك عوامل أخرى تؤثر على السرير النهري الصغير، وهي الطمي الذي يؤدي الى ارتفاع قاع السرير أو قلة عمق السرير النهري. والانجراف الذي يؤدي الى زيادة عمق السرير النهري الأصغر، كما يزداد اتساع السرير النهري بشكل كبير أو صغير بسبب كثرة أو قلة حدوث الفيضان (شكل 5).



شكل (5) المقطع العرضي للسرير النهري

المقطع العرضي للحوض النهري :

يتكون المقطع العرضي للحوض النهري من خط يصل بين نقطتين تقعان على طرفي الحوض النهري أو على أقصى نقطتين تقعان على خـط تقسيم الميـاه للحوض النهري (شكل 6).



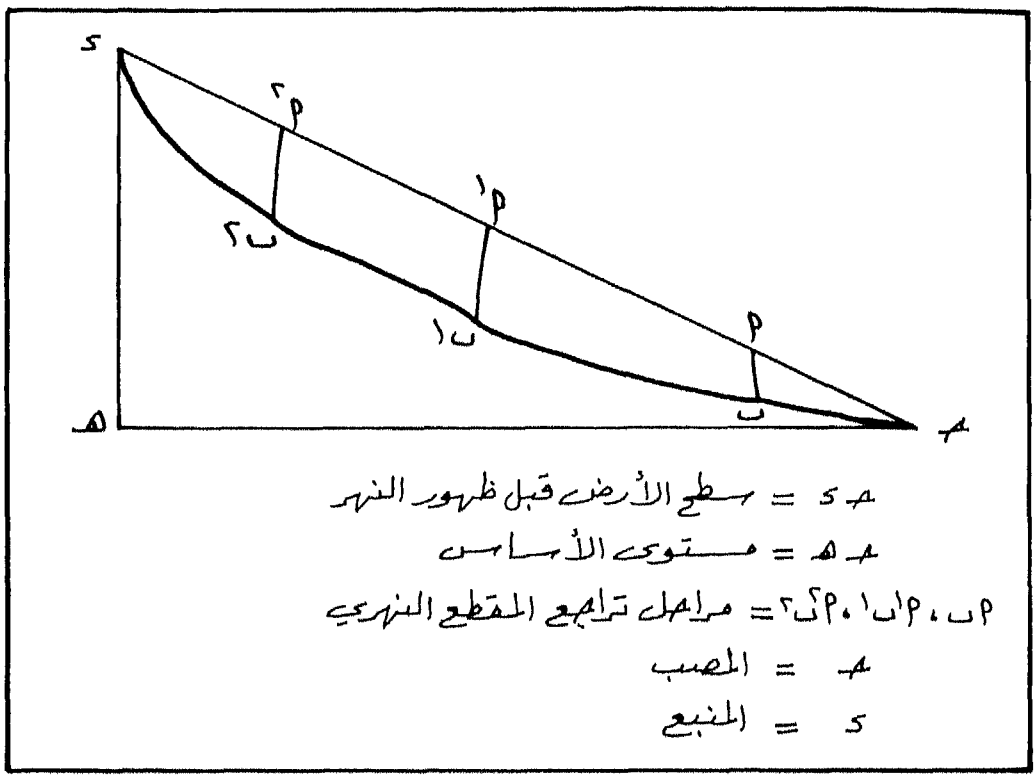
شكل (6) المقطع العرضي للحوض النهري

ويمكننا رسم ثلاث مقاطع عرضية للحوض النهري الأول يمثل المقطع العرضي للحوض الأعلى، والثاني يمثل المقطع العرضي للحوض الأوسط، والثالث يمثل الحوض الأدنى للحوض النهري.

ويمكننا أن نرسم عددا كبيرا من المقاطع العرضية للحوض النهري، كما يمكن أن نرسم مقاطع عرضية فرعية لروافد الشبكة المائية اما منفصلة واما ضمن المقطع العرضي الكبير.

المقطع الطولي للنهر :

يعتمد المقطع الطولي للنهر على طبيعة الصخور التي تحفر فيها الأنهار مجراها وانحدار السفح الذي تجري عليه المياه، كما تلعب غزارة التصريف المائي للنهر دورا هاما في تشكيل المقطع الطولي للنهر. وتعمل مياه الأنهار أثناء جريانها على نحت المناطق المرتفعة من الحوض وخاصة عملية الحت الصاعدة. وتستمر هذه العملية حتى يتحقق التوازن ما بين قوة الحفر والحت الرأسي وعمليات الترسيب، ويبدأ النهر في نحت مقطعه الطولي ابتداء من المصب وهو مستوى الأساس للنهر ثم يتابع النحت تراجعه نحو الأعلى بعيدا عن المصب، وهذا يعني أن عملية النحت تسير باتجاه معاكس لجريان المياه في النهر (شكل 7).



مـ س = سطح الأرض قبل ظهور النهر

مـ هـ = مستوى الأساس

م ب ، م١ ب١ ، م٢ ب٢ = مراحل تراجع المقطع النهري

مـ = المصب

س = المنبع

شكل (7) تراجع المقطع الطولي للنهر

ويلاحظ من الشكل أن مقطع الاتزان النهري الطولي يبدأ من نقطة (د) عند المصب أو مستوى الأساس، ثم يبدأ بالارتفاع نحو الأعلى ويتقدم مستوى الأساس بالتدريج الى (ب) ثم الى (ب1) ثم الى (ب2). ويتناقص انحدار المقطع الطولي كلما تقدمنا نحو المصب كما في الشكل السابق.

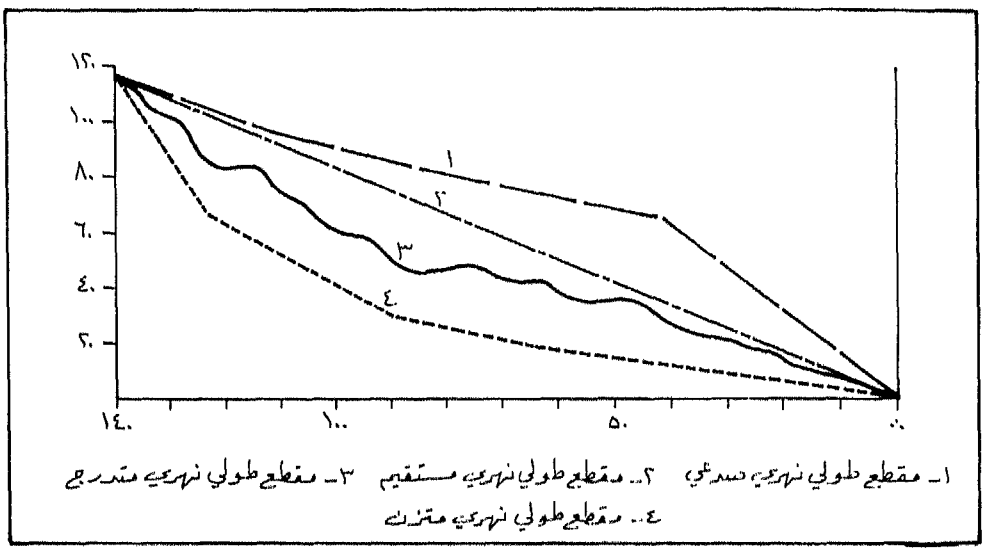
وسبب ذلك هو اقتراب المقطع الطولي للنهر من شكل مقطع الاتزان. ويقسم المقطع الطولي للمجرى النهري الى ثلاثة أقسام هي :

1. المجرى الأعلى وتزداد فيه شدة الحت.
2. المجرى الأوسط وتتم فيه عمليات الحت والترسيب معا.
3. المجرى الأدنى وتسيطر فيه عمليات الارساب.

نتيجة اختلاف الظروف الطبيعية في مختلف أنحاء العالم فاننا نجد تنوعا في المقاطع الطولية للأنهار على النحو التالي :

1. مقطع الاتزان الطولي: وهو أكثر المقاطع الطولية انتشارا على سطح الأرض، ويعتبر المقطع المثالي للأنهار لأنه يمثل المقاطع الطولية للأنهار في مرحلة الشيخوخة (الشكل 8).
2. المقطع الطولي المباشر : وهو نوع نادر من المقاطع الطولية للأنهار ويوجد فقط في المناطق السهلية وتكون عادة أنهارا صغيرة. (شكل 8).
3. المقطع الطولي الصدعي : وهو نوع قليل الانتشار، ويحدث فقط في الأنهار الصغيرة ويكون انحدار المقطع قليلا في المجرى الأعلى وشديدا في المجرى الأسفل من المجرى النهري. (شكل 8).

4. المقطع المتدرج : يتكون هذا المقطع الطولي بسبب وجود طبقات صخرية متفاوتة الصلابة على طول مجرى النهر، أو بسبب وجود منخفضات بحيرية ضمن المجرى كما في الشكل 8.



شكل (8) المقاطع الطولية لتطور النهر

الفصل الثاني

التساقط Precipitation

التساقط هو مصدر جميع المياه العذبة على سطح الأرض، سواء أكان هذا التساقط على شكل أمطار أو برد أو ثلج، ويمكن القول أيضا بأن كل أنواع الجريان السطحي ناجمة بشكل مباشر أو غير مباشر عن التساقط. لذلك تعد دراسة التساقط أساس الدراسات الهيدرولوجية رغم انها من صلب تخصص علماء المتيرولوجيا والمناخ. وسنعالج في هذا الفصل القضايا التي لها صلة مباشرة بالهيدرولوجيا باعتبار أن القارئ له إلمام مسبق بالمفاهيم المناخية والمتزولوجية المتعلقة بالتساقط.

ومن الجدير ذكره بأن كمية الرطوبة الموجودة في الغلاف الجوي تساوي فقط 0.001٪ من مجمل المياه الداخلة في دورة الغلاف المائي، وأن هذه الكمية المتواضعة نسبيا يعود اليها جميع أنواع التساقط على سطح الأرض. ويقدر بعض العلماء بأنه لو أتيح لجميع بخار الماء الموجود في الجو ان يسقط على شكل أمطار في نفس الوقت، فان معدل التساقط على جميع أنحاء الأرض يصل الى (25) ملم تقريبا.

ويتميز أشكال التساقط بالتباين الزماني والمكاني، وتعد دراسة هذا التباين احدى اهتمامات علماء الهيدرولوجيا. حيث يهتم الهيدرولوجي بمعرفة

متى تسقط الأمطار وما كميتها وكيف تتوزع، وكيف نقيس كميتها، وكيف يتم تحليل هذه الاختلافات.

أنواع التساقط Types of Precipitation :

يمكن أن نصف أنواع التساقط بناء على أساس شكل التساقط أو بناء على اصل هذا التساقط.

أولا : تصنيف التساقط بناء على أشكاله :

فمن التساقط ما يكون بحالة السيولة ومنها ما يكون صلبا. فالمطر rain والرذاذ drizzle والندى dew تدخل مباشرة بدورة الماء بينما يؤجل دخول الأشكال الصلبة مثل الثلج snow والصقيع Frost والجليد glaze بدورة الماء حتى تصبح درجة الحرارة مناسبة لذلك. أما البرد فرغم صلابته الا ان ظروف تشكله تجعله يدخل مباشرة بالدورة كما هو الحال بزخات المطر الغزيرة.

ثانيا : تصنيف التساقط بناء على أصولها :

حتى يتم التساقط يجب تضافر عاملين رئيسيين هما : توفر كمية مناسبة من الرطوبة وتوفر ظروف مناسبة ترفع الكتل الهوائية التي تحمل تلك الكميات من الرطوبة الى أعلى بقدر يكفي لتكاثف بخار الماء الموجود ومن ثم حدوث التساقط أن وجود الرطوبة في الهواء الموجود فوق اليابسة يعود الى تحرك الهواء بموازاة سطح الأرض لعدة مئات من الكيلومترات أو مرورها فوق مسطحات مائية شاسعة كالبحار والمحيطات، وقد ترتفع الكتل الهوائية بفعل اصطدامها بعوائق طبغرافية أو بواسطة اصطدامها بكتل أبرد منها، أو يكون صعودها ناجم

عن عملية التسخين كما هو الحال بالأمطار الانقلابية. وليس من المفروض أن يحصل التساقط من أحد هذه الأنواع بمعزل عن الآخر، فقد تتضافر عملية التصعيد الناجمة عن التضاريس مع عملية التصعيد الناجمة عن التقاء كتل هوائية متباينة الحرارة.

تباين التساقط Variations of Precipitation

من الأمور الرئيسية التي يهتم بها علماء الهيدرولوجيا تباين التساقط مكانيا وتباينه زمانيا. بحيث يندر أن يتساوى موقعين بمقدار الأمطار التي تسقط عليها بنفس الوقت، كما يندر أن يتساوى التساقط بموقع معين بنفس الوقت وبنفس الموعد خلال سنوات مختلفة. فمن النادر على سبيل المثال أن تتساوى كمية التساقط على محطة مطار عمان المدني الساعة الواحدة ظهرا في اليوم الثالث من كانون أول عام 1991 مع نفس الكمية التي يمكن أن تسقط بنفس الموعد عام 1992.

فمعدل سقوط الأمطار السنوي الافتراضي على مختلف بقاع الأرض يصل الى 700 ملم (280 بوصة) تقريبا، ولكن في حقيقة الأمر قد تمضي عدة سنوات دون أن تهطل أمطار تذكر على بعض المناطق الصحراوية، في حين يزيد معدل التساقط السنوي في بعض المناطق عن 1000 ملم كما في جبل Waialeale بجزر هاواي التي يصل معدل التساقط السنوي فيها الى 1200 ملم (480 بوصة).

ويعتمد تباين التساقط مكانيا على معدلات التبخر وعلى نمط مسار الكتل الهوائية. حيث يتخذ نمط توزع الأمطار على سطح الكرة الأرضية أنماطا شريطية عرضية. ونظرا لكون البحار والمحيطات هي المصدر الرئيسي للبخار

الموجود في الجو، فان المناطق البعيدة عن الساحل تتصف بقلة التساقط مقارنة بالمناطق المناظرة لها على السواحل، وتلعب الرياح الدائمة دورا معدلا، يحد من أثر البعد عن السواحل في تقليل الأمطار، بحيث يتعدى تأثير البحار والمحيطات في التساقط المناطق الساحلية لها، ويمكن أن ينسحب هذا القول على الرياح العكسية التي تهب على اقليم السواحل الغربية في أوروبا، حيث يتعدى تأثيرها المناطق الساحلية لقارة أوروبا.

ويغلب على التساقط في مختلف رقاع المعمورة النمط الفصلي، بحيث ينتظم التساقط وفق أنماط فصلية يمكن التكهن بوقت حدوثه وبكميته وفق بيانات تدل على كميات التساقط في سنوات سالفة، ويهتم الهيدرولوجي بهذا الأمر اهتماما كبيرا وذلك لرسم السياسات المائية التي تمليها ظروف التساقط.

ويمكن دراسة التبيان الزماني للتساقط وفق المفاهيم التالية :

1. التباينات الدورية Cyclic Variations

جرت العديد من المحاولات للكشف عن امكانية وجود دورات منتظمة للتساقط من خلال دراسة كميات التساقط السنوية. وتعتبر مثل هذه القضايا ضرورية جدا في مجال الدراسات البيئية وبخاصة الفيضانات، ولتحديد مقدار المياه التي يمكن أن تكون متوفرة في سنة ما، ويمكن أن تفيد أيضا في تحديد أماكن اقامة المنشآت والمساكن قرب مجاري الأودية والأنهار الرئيسية، وتتطلب مثل تلك الدراسات معلومات دقيقة ولفترة طويلة يفضل أن لا تقل عن 30 سنة متواصلة. وقد تمت ملاحظة عدة دورات تتباين في مدتها، فمنها ما يصل طولها عشر سنوات ومنها ما يصل الى 35 سنة.

2. التغيرات الطويلة المدى: Secular Variations

لم يوفق العلماء في تحديد دورة ثابتة للتساقط. ولكن بعض الدراسات الحديثة استطاعت التوصل الى قناعة بأن تباين التساقط يرجع سببه مباشرة الى تضافر بعض العوامل الجغرافية مع بعض العوامل المناخية. حيث اتضح أن هناك دورة عامة شبه منتظمة للدورة العامة للغلاف الجوي تنعكس بالتأكيد على نطاق التساقط العالمي.

3. التباينات الفصلية Seasonal Variations

يظهر النمط العام لنظام التساقط في معظم مناطق العالم، نمطا شبه ثابت، بحيث تتساقط الأمطار في موسم ما وتحجب عن التساقط في موسم آخر. وقد درج على تسمية هذه المواسم بالفصول. وتتأثر هذه الفصلية بنظام الغلاف الجوي الذي يتأثر كثيرا بالحركة الكونية للنظام الشمسي وبخاصة علاقة الأرض بالشمس.

التباينات اليومية : Diurnal Variations

تحدث بعض التباينات اليومية لتساقط الأمطار في بقاع محددة من سطح الأرض. وتعود هذه الاختلافات الى اختلاف درجة الحرارة بين ساعات النهار، والتي تعد الأساس في حدوث الأمطار الانقلابية وبخاصة في المنطقة الاستوائية. حيث تسقط الأمطار الرعدية يوميا بعد الظهر او مع بدايات المساء.

وبشكل عام نستطيع القول بأن امكانية نجاح توقعنا لتحديد كمية الأمطار المتساقطة تزداد في حالتين هما :

1. عند زيادة الفترة الزمنية. أي أن توقعنا لكمية التساقط للسنة يكون أفضل من توقعنا للتساقط على مستوى الفصل والشهر، كما أن توقعنا لكمية التساقط في شهر تفوق ذلك التوقع ليوم .... وهكذا.

2. في المناطق ذات الأمطار الوفيرة يكون التباين قليلا من سنة الى أخرى ومن فصل الى آخر بينما يكون ذلك التباين أكبر في المناطق التي لا تتمتع بتساقط وفير.

كثافة الأمطار : Rainfall intensity

من الأمور التي تهم علماء الهيدرولوجيا كثافة التساقط على مستوى العاصفة المطرية، ومدى استمرارية كثافة التساقط ضمن نفس العاصفة. حيث يتأثر الجريان السطحي وبخاصة تحديد ذروة الجريان النهري بتحديد كثافة التساقط وديمومته. وكلما قلت الفترة الزمنية التي يحدد خلالها كثافة التساقط يكون أفضل. فلو عرفنا كثافة التساقط لكل ساعة أو أجزاء الساعة خلال العاصفة المطرية أفضل من معرفتنا بتلك الكثافة خلال العاصفة بشكل عام أو خلال يوم واحد منها. ويعبر عن هذا الأمر عادة بما يسمى بمنحنى كثافة التساقط Intensity - duration curve وقد نعبر عن ذلك بطريقة أخرى بما يسمى بـ depth - duration curve, ويحدد فيها نسبة التساقط في ساعة ما خلال العاصفة الى مجموع التساقط الناجم عن نفس العاصفة. ويمكن استخدام منحنيات أخرى لتعبر عن كثافة التساقط مثل rainfall intensity frequency graph حيث تبين هذه المنحنيات نسبة تكرار كثافة التساقط لمحطة ما ولعاصفة معينة.

قياس التساقط : Measurement of precipitation

الفكرة الرئيسية من خلال قياس كميات التساقط هو للتعبير عن سمك المياه التي تغلف المنطقة بفعل العاصفة المطرية. ويعد التساقط أول عناصر الطقس التي تولاها المهتمون بالقياس. ويقدر البعض بأن بداية قياس الأمطار كانت في القرن الرابع الميلادي في شبه القارة الهندية. ولكن القياس الحقيقي المؤكد للأمطار عرف منذ عام 1639 في ايطاليا، وفي بريطانيا بدأ القياس عام 1677.

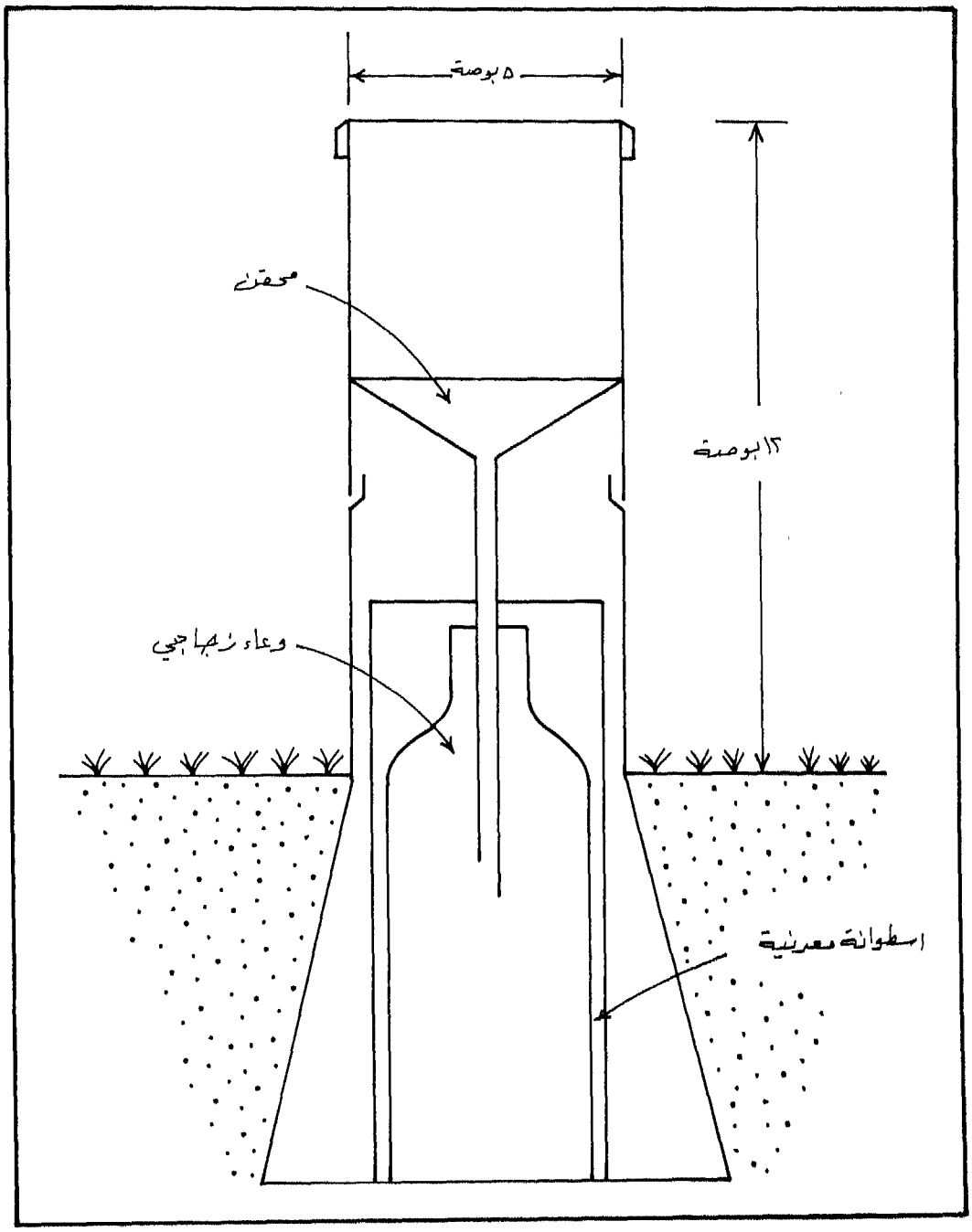
أنواع مقاييس التساقط Types of raingauge

تصنف مقاييس الأمطار ضمن مجموعتين رئيسيتين هما :

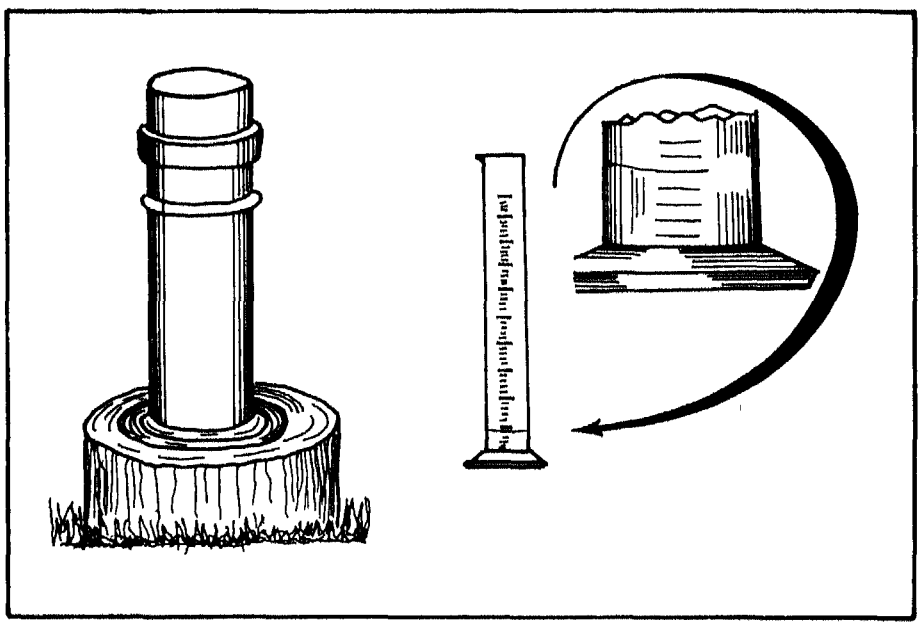
1. مقياس التساقط غير المسجل / العادي : Non-recording gauges

وهو عبارة عن جهاز بسيط، يتكون من اسطوانة بلاستيكية او معدنية طولها 580ملم وقطر فوهتها 200ملم، وترتبط الفوهة بقمع يوصل الأمطار الى اسطوانة داخلية قطرها 20ملم تكون غالبا مدرجة تدل على كمية الأمطار الساقطة في المنطقة. وقد لا تكون مدرجة، بحيث يتم قياس الكمية بواسطة المخبار المدرج، ويتميز هذا النوع ببساطته، ولكنه لا يعطي فكرة واضحة عن كثافة الأمطار (الغزارة) أو ديمومتها ولا يعطي فكرة تامة عن المسار العام للتساقط خلال فترة زمنية محدودة. الا انه يمكن قياس كمية الأمطار المتجمعة به في أي وقت يشاء الراصد ذلك (شكل 9-أ).

ويتفاوت شكل المقياس من دولة الى أخرى. فهناك النموذج البريطاني (Mark II) (شكل 9 -ب). والنموذج الكندي (شكل 10).



شكل (9) جهاز قياس المطر (5 بوصة) النموذج البريطاني

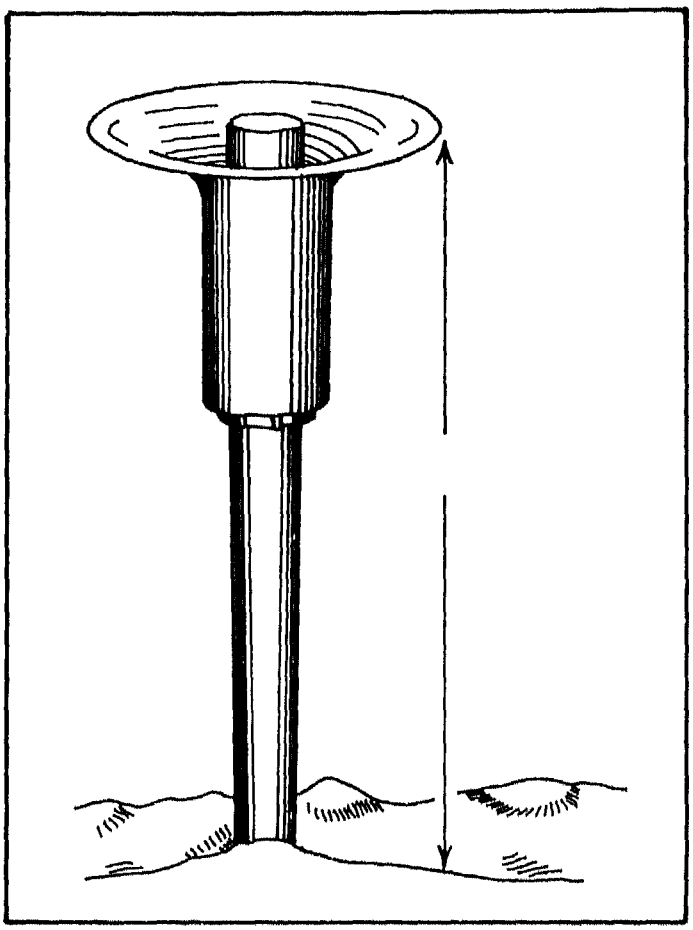


شكل (10) النموذج الكندي لقياس الأمطار

وجميعها تتبع نفس الأساس. حيث تغلف الاسطوانه المعدنية او البلاستيكية اسطوانة أخرى مدرجة مصنوعة من الزجاج أو البلاستيك. ولكن هناك اختلاف في كيفية تثبيت هذه الأجهزة على الأرض. فبعضها تدفن قاعدته في الأرض، والآخر يرتفع على قائم، وبعضها كالنموذج الكندي يستند على قاعدة ترتفع عن الأرض كما هو واضح في الشكل (10).

ولزيادة كفاءة هذه المقاييس وبخاصة في المناطق النائية، فان الاسطوانة الداخلية تكون من الكبر بحيث تكفي لتساقط كمية كبيرة من الأمطار، ويضيف الراصد أحيانا بعض الزيوت على الاسطوانة الداخلية في المقاييس التي تقع في مناطق نائية، ويتعذر قياسها يوميا، وذلك لخفض كمية التبخر من الكميات التي استقرت داخل ذلك الأنبوب، وتسمى هذه الأجهزة **Storage or totlizer Gauges**.

توجد مقاييس مخصصة لتقدير كمية الأمطار الناجمة عن تساقط الثلج. وتشبه الى حد بعيد تلك المقاييس سالفة الذكر، الا انها لا تحتوي على قمع، بحيث تهوي الثلوج من الفوهة الى القاع ثم تذوب بعد حين، وتثبت هذه المقاييس على قائم قابل لرفعه أو تنزيله وذلك حسب تراكم الثلوج (شكل 11). ويتبع الراصدين الجويين في كندا لتقدير كمية التساقط بفعل الثلوج من خلال قياس سمك الثلوج بواسطة المسطرة، بحيث يقسم السمك على 10، ويكون الناتج هو كمية الأمطار الساقطة وقد لا تعد هذه الطريقة فعالة في جميع الحالات بسبب تفاوت هشاشة الثلج من مكان الى آخر ومن وقت الى آخر.

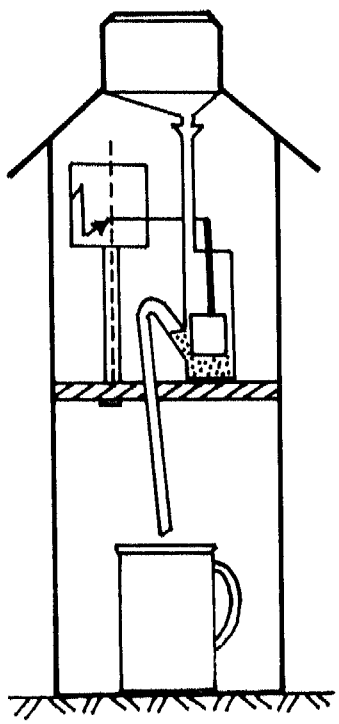


شكل (11) جهاز نيفر لقياس الثلج

2. أجهزة قياس المطر الآلية : Recording precipitation Gauges

رغم تعدد المقاييس الآلية وتنوعها الا انها تقوم على أسس واحدة. فمنها ما يعبر عن كمية التساقط باختلاف الوزن، الذي يدل عليه مؤشر خاص يسجل ذلك على ورقة رسم بياني ملفوفة حول اسطوانة تدور باستمرار. وقد تغير هذه الورقة يوميا أو أسبوعيا وقد يصل الأمر الى شهر، بحيث أن كمية المياه الداخلة في الجهاز يمكن صرفها أو جمعها بوعاء كبير، قد يستفاد منها لأمور

خاصة. وبعضها يعبر عن كمية التساقط بارتفاع وانخفاض عوامة تطفو فوق المياه التي تتجمع داخل مستودع محدود السعة Floot - type Gauges، يمكنه التخلص من الكميات الزائدة، أما بصرفها خارج الجهاز او جمعها أيضا بمستودع أكبر. وترتبط العوامة بمؤشر، يحدد مسار تساقط الأمطار على ورقة رسم بيانية كما هو الحال في الجهاز السابق. وتعتمد بعض دوائر الأرصاد الجوية مقياس المطر ذو الدلاء Tipping buckets Gauge، الذي يتكون من دلوين صغيرين يتسع الواحد منهما لـ 0.25ملم من الأمطار. وكلما امتلأ دلو يبدأ الآخر بالامتلاء، بعد أن يبدأ الأول بتفريغ ما بحوزته، ويوجد مؤشر خاص يسجل على ورقة رسم بيانية دوارة عدد المرات التي تم تفريغ تلك الدلاء، وبعملية حسابية بسيطة نستطيع حساب كمية الأمطار الساقطة (شكل 12).



شكل (12) مقياس المطر ذو الدلاء

وتوجد بعض الأجهزة التي توافق بين هذه الأنـواع الثلاث، وبامكانـها ان تحول التسجيل مباشرة الى قيم رقمية تخزن مبـاشرة علـى أشرطـة الحاسبات الالكترونية. وبعض هذه الأجهزة الذي يثبت بمواقع نائية مزود بأجهزة ارسـال، تزود المحطات الرئيسية بمقدار كميـات التسـاقط المسـجلة مبـاشرة، وتعـد هـذه الطريقـة ضروريـة جـدا في حسـاب كميـات التسـاقط، وتقديـر كميـة الجريـان السطحي، مما يفيد في تفادي أخطار الفيضانات في بعض المناطق المهددة بها.

استخدام الرادار في قياس / تقدير كمية التساقط :

رادارات الطقس من التقنيات الحديثة التي تقيس تباين كميات التساقط للعواصـف المطريـة زمانيـا ومكانيـا. حيـث يقـوم الـرادار بارسـال حـزم مـن الاشعاعات الرادارية قصيرة الموجة بمعـدل ألـف نبضـة puls في الثانيـة. ويتلقـى الرادار بين النبضات الاشارات singles المنعكسة من الأهداف، وتمثل الأهداف في هذه الحالة قطرات المطر المتساقطة، ومن خلال معادلة خاصـة يمكـن حسـاب كميـات الأمطـار المتوقـع هطولهـا علـى المنطقـة. ويـتراوح مـدى تأثـير بعـض الرادارات ما بين 100–150 ميل من موقع النظام الراداري.

وقد دلت بعض الدراسات على ان استخدام الـرادار يعـاني مـن بعـض الهنات التي لا تؤهله تماما ليكون مصدرا موثوقا بـه في قيـاس كميـات التسـاقط بشكل دقيق. فقد تبين أن 30٪ من القياسات الراداريـة تعـادل 26٪ مـن القيـم المقاسة بالطرق التقليدية على بعد يتراوح ما بين 19–60 ميل، وتهبط النسبة الى 15٪ في 25٪ من قراءات الرادار اذا تراوحت المسافة بين الرادار ومحطة القياس التقليدية ما بين 60–100ميل. ويعود السبب الرئيسي في هذا الاختـلاف الى أن الموجات الرادارية تسير بخطوط قوسية يفـوق تقوسـها تقـوس الأرض، بحيـث لا تستطيع أحيانا هذه الموجات الاصطدام بقطرات المطر نظـرا لانخفـاض مسـتواها

عن سطح الأرض. لذلك فان المناطق المجاورة لمحطة الرادار يستطيع الرادار تقدير كمية التساقط فيها بمعدل يساوي تماما ما تقيسه أجهزة قياس المطر التقليدية.

ومع ذلك فان بعض الدول المتقدمة مثل بريطانيا وفرنسا تكاد أن تكون مغطاة بشبكة رصد رادارية تتيح للمتخصصين رصد العواصف المطرية، وتقدير كمية الأمطار المتوقع هطولها، وبذلك تعد هذه الطريقة فعالة في مجال الحد من خطر الفيضانات. اذ أن هذه الرادارات متصلة مع بعضها البعض وترتبط جميعها بمحطة رئيسية، تستطيع من خلال نماذج احصائية تقدير كمية التصريف المائي في الأودية والأنهار الرئيسية، كما أن هذه المحطة ترتبط بمراكز الدفاع المدني والأمن العام، وبمحطات الاذاعة والتلفزة، وبذلك تستطيع اعطاء صورة واضحة أولا بأول عن سير المنخفضات والأعاصير الجوية.

بعض المشكلات التي تعترض قياس المطر:

من الصعب القول بأن أية محطة مناخية تمثل تمثيلا حقيقيا المنطقة المقامة بها. فعناصر الطقس وبخاصة الأمطار هي أكثر عناصر الطقس تأثرا بالظروف الموضعية. فكلما كانت الأرض سهلية تكون المحطة المناخية أكثر تمثيلا. ويقل تمثيل المحطة للمنطقة المقامة فيها كلما زاد تضرس المنطقة، ولذلك ينصح باقامة أجهزة رصد مطرية بكثافة عالية في المناطق الجبلية الوعرة أكثر من المناطق السهلية.

ويتأثر مدى صدق القياسات المطرية بعوامل أخرى مثل ارتفاع جهاز القياس المطري، وضياع جزء من الأمطار في التبخر وفي تبليل الجهاز، وحدوث دوامات هوائية حول الجهاز، فضلا عن بعض الأخطاء التقنية في مكونات الجهاز نفسه.

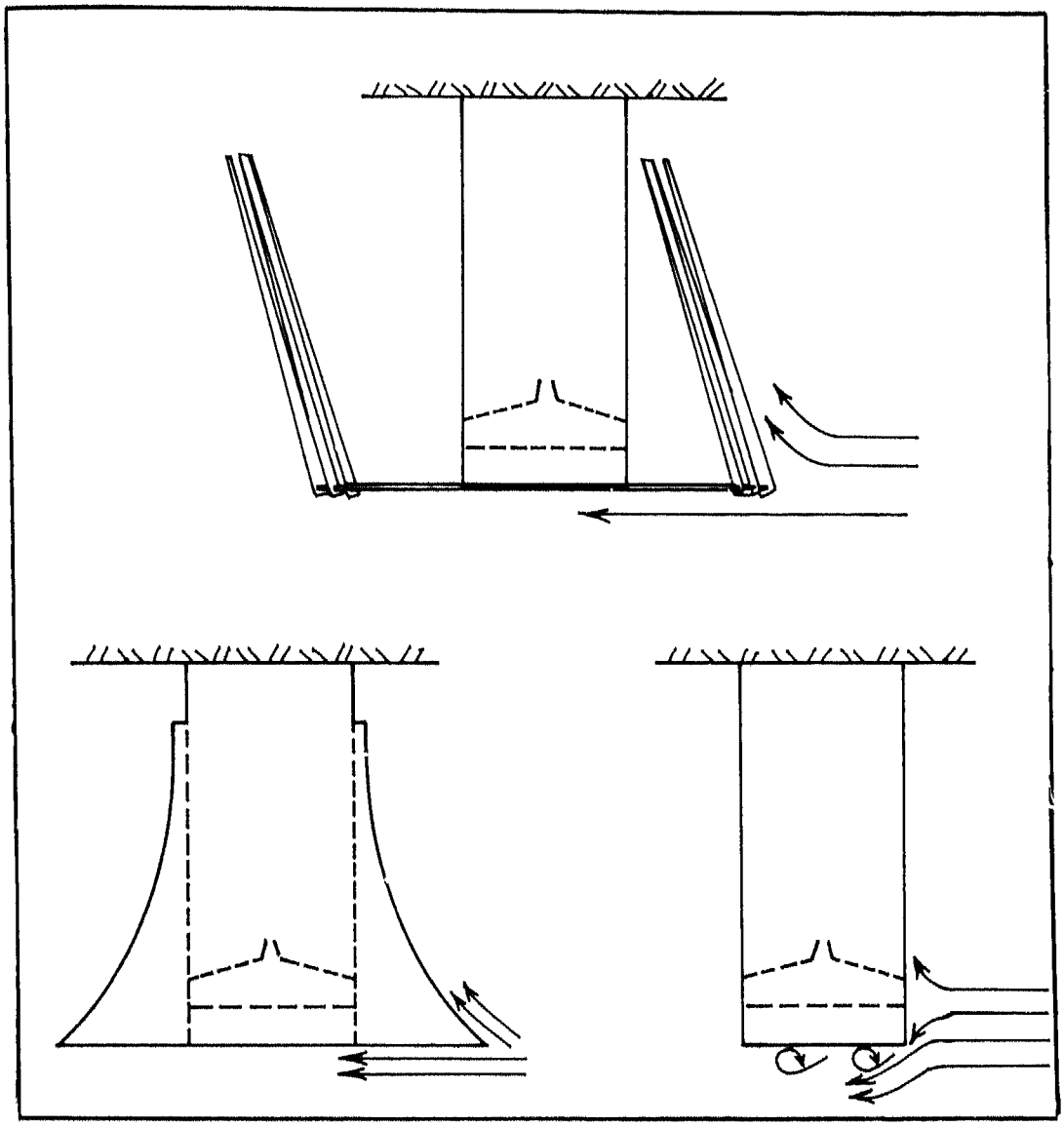
اضطراب الهواء وتطاير قطرات الماء : Turbulence and insplash

تمثل أجهزة رصد المطر عوائق أمام تدفق الرياح فوق سطح الأرض مما

يسبب اضطراب الرياح وحدوث دوامات هوائية حول جهاز الرصد، مما يمنع بعض قطرات الماء من الدخول الى الجهاز، ويتفاوت هذا التأثير بتفاوت سرعة الرياح، وارتفاع الجهاز عن سطح الأرض، فعندما تكون حافة فوهة الجهاز قريبة من سطح الأرض فان تطاير رذاذ الماء الناجم عن اصطدام قطرات المطر بالأرض قد يضيف كميات غير حقيقية الى قراءة الجهاز.

ولذلك يجب ضبط الارتفاع بحيث يكون تأثير هذين العاملين بأدنى حد لهما. وقد يضطر الهيدرولوجيون الى قياس كميات التساقط في بعض المناطق التي تتميز بارتفاع سرعة الرياح وكثرة الزوابع، وفي هذه الحالة من الصعب جدا قياس كمية التساقط بشكل دقيق، ولتفادي حصول الأخطاء في القياس يلجأون الى اقامة حاجز دائري حول جهاز القياس بارتفاع قدم واحد وبقطر يصل الى 10 قدم وسمك 6 بوصات، وينطبق هذا الأمر على الأجهزة التي تدفن في الأرض، وليس على الأجهزة القائمة على قواعد ترتفع عن سطح الأرض. ويلجأ المختصون بدراسة نظم التساقط في مناطق الغابات والأحراش الى تثبيت الأجهزة على ارتفاع يتراوح ما بين 20–30 قدم عن سطح الأرض، نظرا لما تسببه تيجان الأشجار في حجب مياه الأمطار من الوصول الى أجهزة القياس الأرضية. ومنعا او تقليلا من أثر الدوامية، فان الأجهزة تدفن في الأرض، وتبرز هنا مشكلة تطاير الرذاذ من سطح الأرض، وللتغلب على ذلك تحاط منطقة الأجهزة بطبقة من الحصى مغروس بينها شرائح معدنية مائلة ميلا لطيفا نحو الأجهزة المدفونة.

وتضاف أحيانا لاسطوانة جهاز القياس المطري واقيات تقلل من حصول الدوامات الهوائية التي تتشكل حول الفوهة أو فوقها (شكل 13).



شكل (13) حماية جهاز قياس المطر (أ) و (ب) و (جـ)

ويتبع نموذجين الأول يدعى نوع Nipher والثاني نوع Alter أو Tretyakov. ويتضح من خلال هذا الشكل بأن الدوامة بأعلى الفوهة قد اختفت وان الرياح تنقسم الى جزئين، يتجه أحدهما الى الأسفل، والآخر يسير بخط مستقيم.

ما زالت بعض الدول تعتمد على ابقاء فوهات أجهزة القياس المطرية بمستوى سطح الأرض. ورغم المحاولات المتكررة، والتجارب العديدة للتخفيف من مشكلة تطاير رذاذ الماء، إلا أن هذه الطريقة ما زالت تعاني من هذه المشكلة. الا أن الطريقة المشار اليها في الشكل (رقم 9) قد أثبتت جدارتها في الحد بشكل كبير جدا من تطاير رذاذ الماء. وتتفاوت ارتفاعات الأجهزة من دوله الى أخرى ففي بعض الدول لا يتعدى ارتفاع حافة الجهاز عن سطح الأرض الخمس بوصات، وبعض الدول الأخرى ترتفع الحافة الى 12 بوصة كما هو الحال في كندا، والى 31 بوصة في كل من استراليا وبريطانيا والولايات المتحدة، والى 79 بوصة في روسيا. وقد أوصت بعض الدراسات بأن الارتفاع الأمثل هو 15 بوصة.

وبناء عليه، يجب اقامة أجهزة قياس المطر بعيدة عن العوارض البارزة، وبعيدة أيضا عن الأشجار والمباني والأعشاب المحيطة بها يجب أن تكون قصيرة، ووضع أكثر من جهاز واحد في المحطة الواحد، كما انه يجب أن توضع الأجهزة ضمن مناطق محمية لتخفض من سرعة الرياح. ويجب أن تبتعد الأجهزة عن العمارات مسافة تساوي أربعة أضعاف ارتفاع تلك العمارة.ويعاني أحيانا بعض الباحثين من اختلاف المعايير المستخدمة لقياس الأمطار ضمن الأحواض المائية

التي تشترك فيها أكثر من دولة. ولحل هـذه المعضلـة وضعـت منظمـة الأرصـاد الجويـة معيـارا دوليـا International reference precipitation (IRPG) gauge بقطر يساوي 5 بوصات على أن تكون الفوهة بارتفاع 5 بوصـات مـن سطح الأرض، باستخدام واق من نوع Alter shield.

زاوية تثبيت أجهزة قياس التساقط Angle of gauge :

من العوامل التي تحد مـن صحـة بيانـات أجـهزة الرصـد المطـري، تلـك الزاوية المحصورة ما بين جهاز الرصد والخط العام للمنحـدر المثبـت عليـه ذلـك الجهاز. ففي الشكل رقم (14) يبدو من الرسم (A) أن الجهاز المثبت على الجهة اليسرى يتلقى كمية أكبر من الأمطار عما يصل الجهاز المثبت في الجهـة المقابلـة رغم تساوي الزاويتين المحصورتين بـين خـط المنحـدر والجـهاز. وفي الرسـم (B) تشكل الأمطار في الحالتين نفس الزاوية مع المنحدر الا أن الأمطـار الـتي تسـقط بشكل أفقي تقل فرص دخولها الى الجهاز عن تلك الأمطار الـتي تسـقط بشكـل قريب من العمودي رغم تساوي الزاويتين المشار اليهما آنفا (ما بين خط المطـر الساقط وبين خط المنحدر)، ويعود هذا الاختلاف الى اختلاف الزاوية المحصورة بين خط المطر الساقط وبين حافة الجـهاز، ولـو كـانت الأجـهزة مثبتـة بمسـتوى سطح الأرض المحلي لما حصلت هذه الفروق.

شكل (14) زاوية تثبيت أجهزة قياس المطر